

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15699

研究課題名（和文）ペプチドを用いたナノ構造体の内包に基づく微小管の構造強化

研究課題名（英文）Structural rigidification of microtubules by peptide-based encapsulation of nanostructures

研究代表者

稲葉 央（Inaba, Hiroshi）

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00778011

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：細胞骨格の一種である微小管はチューブリンタンパク質からなるチューブ状構造体であり、微小管を利用したナノ材料の構築が注目を集めている。近年微小管内部に結合するタンパク質が発見され、微小管の構造安定化に寄与していると推定されている。しかし、人工的に微小管内部にナノサイズの構造体を導入した例はなかった。本研究では、独自に開発した微小管内部に結合するTau由来ペプチドTPを用いることで、微小管内部にタンパク質や金属ナノ粒子を導入し、微小管の構造・機能の制御を目指した。緑色蛍光タンパク質（GFP）や金ナノ粒子、磁性ナノ粒子などの導入に成功し、内包物に応じて微小管の構造や性質が変化することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年微小管の内部空間に結合する様々なタンパク質が発見され、その存在意義が注目を集めているものの、内部にナノサイズの構造体を人工的に導入した例はなかった。本研究は人工的に導入したナノ構造体によって微小管の構造や性質が変化することを示した初めての例であり、微小管の理解が深まることに加え、微小管を用いたナノデバイスや分子ロボットなどのマテリアル開発や、細胞内微小管の構造・機能制御による細胞操作など、様々な分野への展開が期待される。

研究成果の概要（英文）：Microtubules are tubular cytoskeletons composed of tubulin proteins. The construction of nanomaterials using microtubules has attracted attention. Recently, proteins that bind to the inner surface of microtubules have been discovered, and it is assumed to contribute to the structural stabilization of microtubules. However, there have been no examples of introduction of exogenous nanostructures inside microtubules. In this study, we aimed to control the structures and functions of microtubules by introducing proteins and metal nanoparticles into microtubules using Tau-derived peptide TP, which is a binding motif to the inner surface of microtubules. Green fluorescent protein (GFP), gold nanoparticles, and magnetic nanoparticles were encapsulated in microtubules and the structures and properties of microtubules changed according to their encapsulated molecules.

研究分野：タンパク質化学、ペプチド化学

キーワード：微小管 チューブリン ペプチド タンパク質 Tau 金属ナノ粒子 ナノマテリアル アクティブマタ

1. 研究開始当初の背景

細胞骨格の一種である微小管はチューブリンタンパク質が重合して形成される内径 15 nm のチューブ構造体である (図 1a)。可逆的な重合・脱重合や外部表面におけるモータータンパク質の運動などの興味深い特性から、微小管を利用したナノ材料の構築が注目を集めている。例えば、モータータンパク質であるキネシンを固定した基板上で微小管が運動することを利用した微小管の能動的自己組織化や、微小管外部表面に修飾したタンパク質や DNA、金属ナノ粒子を輸送するナノデバイスが盛んに開発されている¹。しかし、微小管自体の構造や性能を改変する方法論は未開拓であった。

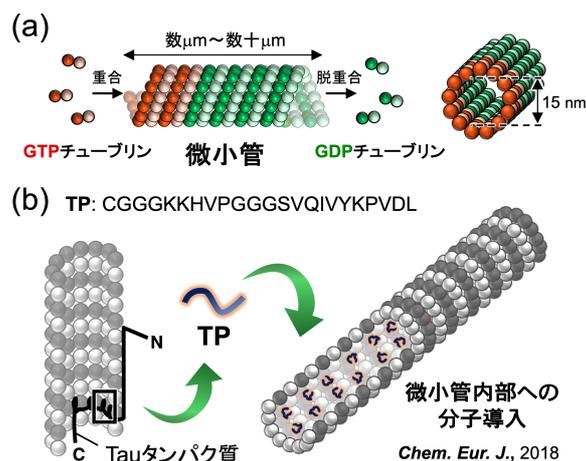


図 1. (a) 微小管の構造 (b) Tau 由来ペプチド TP

一方生体内では、微小管外部はモータータンパク質などが働く場であることから、内部に結合したタンパク質が微小管の構造や物性を制御している可能性がある。例えば、鞭毛や繊毛中の微小管は内部に多様なタンパク質の結合が見られ、細胞質の微小管と比べ安定化された構造をとる²。しかし、その結合様式や安定化の原理などは不明であり、人工物を内包して微小管の構造改変を試みた例も皆無である。その理由は、これまで微小管内部への分子導入法が存在しなかったためである。研究代表者らは、微小管内部表面に結合する Tau 由来ペプチド TP の開発に成功している (図 1b)³。TP は Tau タンパク質から設計した 23 残基のペプチド (CGGGKKHVPGGGSVQIVYKPVLD) であり、微小管内側のポケットに選択的に結合する。したがって、TP を用いて微小管内部に様々なナノ構造体を導入することで、構造が強化されて安定性や運動性が向上した微小管を創製できると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、TP を用いて微小管内部にナノ構造体を導入することで、構造が強化され、優れた安定性、運動性を有する微小管を創製することを目的とした。具体的には、(1) 緑色蛍光タンパク質 (GFP) の内包による構造強化、(2) 金ナノ粒子の内包による微小管の構造強化、(3) CoPt ナノ粒子の内包による微小管の磁場配向制御を目指した。

3. 研究の方法

TP を有するペプチドは Fmoc 固相法により合成し、逆相 HPLC による精製および MALDI-TOF-MS による同定を行った。Tetramethylrhodamine (TMR) で修飾したチューブリンを用いて微小管を作製し、共焦点レーザー蛍光顕微鏡 (CLSM) で観察した。これまで研究代表者らが確立した、チューブリンと TP 修飾ナノ構造体を複合化した後に GTP またはそのアナログである GMPCPP を加えて微小管を構築する手法を用い、微小管への内包を試みた。金ナノ粒子、CoPt ナノ粒子の微小管への内包は透過型電子顕微鏡 (TEM) で観察した。微小管の形成に伴う濁度上昇を見かけの吸光度として測定することで微小管形成量を評価した。キネシン固定基板上における微小管の運動速度を蛍光顕微鏡により解析した。得られた CLSM 像および蛍光顕微鏡像より微小管の全長や剛直性の指標である持続長を算出した。

4. 研究成果

(1) GFP の内包による微小管の構造強化⁴

GFP の 11 番目の β ストランドの GFP 11 と TP を連結した TP-GFP 11 を合成し、GFP の 1-10 番目の β ストランドの GFP 1-10 と再構成することで、TP が C 末端側に連結された TP-GFP を合成した。TP-GFP とチューブリンを複合化した後に微小管を作製したところ、TP-GFP の微小管への結合が CLSM により確認された (図 2a)。蛍光ラベルした抗 GFP 抗体が TP-GFP 内包微小管には結合しないことから、TP-GFP は大部分が微小管に内包されていることが明らかとなった。TP-GFP を内包した微小管はその全長、持続長、およびキネシン固定基板上における運動速度が通常の微小管に比べ増大しているという興味深い結果が得られた (図 2b)。濁度測定により、TP-GFP は微小管の重合の促進、脱重合の阻害を誘起することが明らかとなり、その効果は微小管を安定化する抗がん剤であるタキソールと同程度であった (図 2c)。GFP 骨格を持たないペプチドである TP-GFP11 のみではそのような顕著な濁度上昇は見られなかったことから、微小管安定化のためには TP と GFP 骨格の両方が必要であることが明らかとなった。このように、TP を用いることで GFP の内包に成功し、本来微小管が持たないタンパク質を内部に導入することで微小管の構造や物性が変化することを見出した。

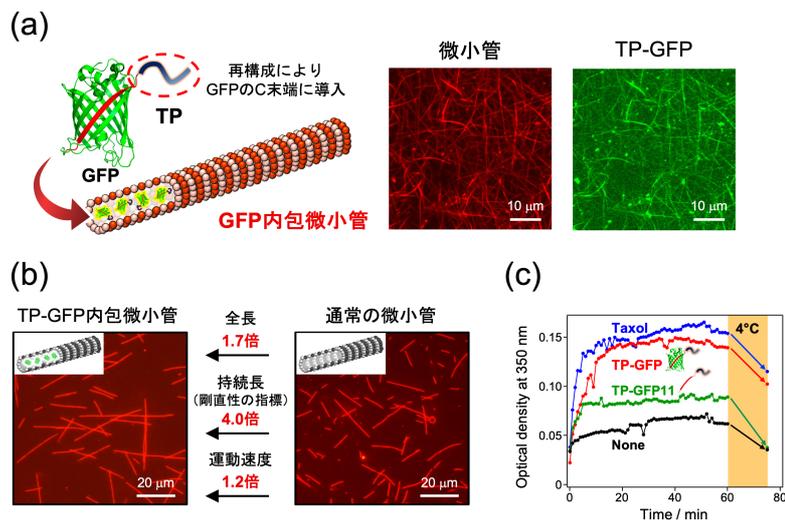


図 2. (a) TP-GFP の微小管への内包と CLSM 像 (b) TP-GFP 内包微小管の物性解析 (c) 濁度測定による微小管の形成評価

(2) 金ナノ粒子の内包による微小管の構造強化⁵

サイズや表面電荷、TP 修飾率を変えた金ナノ粒子を合成し、微小管の構造や安定性に与える影響を解析した。TP の N 末端のシステインと市販のクエン酸コートされた金ナノ粒子 (5 nm または 10 nm) の反応により、TP が修飾された金ナノ粒子 (TP-AuNP) を合成した (図 3a)。遠心処理後の上澄みを逆相 HPLC で解析することで、添加した TP がほぼ全て金ナノ粒子に修飾されたことが明らかとなった。さらに、TP-AuNP を 2-メルカプトエタノールおよびシステアミンで処理することで、それぞれヒドロキシ基およびアミノ基を導入した。これら TP-AuNP をチューブリンと複合化後に GMPCPP を加え微小管を作製したところ、10 nm の金ナノ粒子を用い、TP を 50 当量修飾したクエン酸コートされた TP-AuNP を用いた際に最も持続長が増大し、剛直な微小管が形成された (図 3b, 3c)。また、TEM により微小管内部への TP-AuNP の導入が確認された。一方で、そこに 2-メルカプトエタノールおよびシステアミンを修飾した際は微小管の持続長の顕著な変化は見られなかった。したがって、負電荷を有するクエン酸コートされた TP-AuNP が正電荷を有する微小管内壁により効率的に結合し、微小管構造の変化を誘起したと考えられる。また、濁度測定および GTP 結合型の微小管観察から、上記の TP-AuNP (10 nm、50 当量 TP、クエン酸コート) が微小管構造を安定化することが明らかとなった。

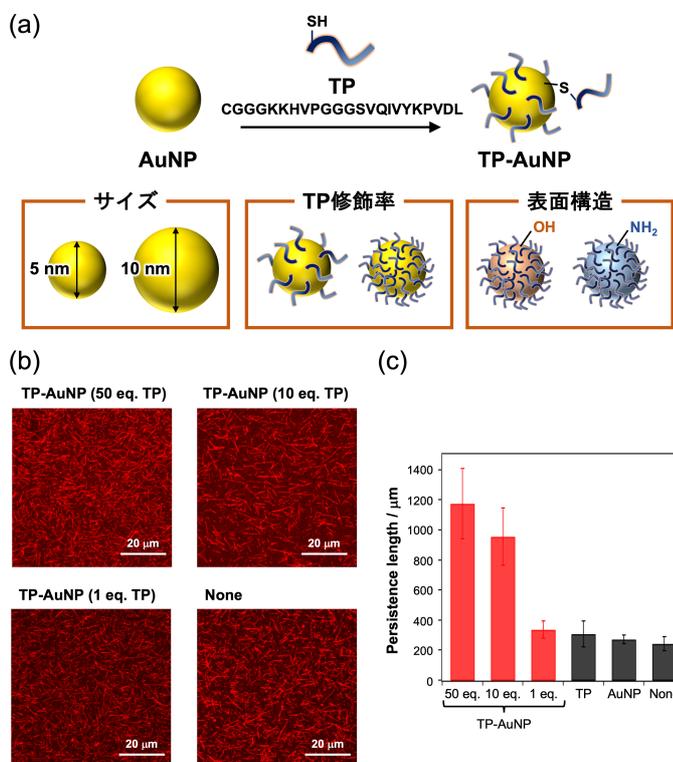


図 3. (a) TP 修飾金ナノ粒子 (TP-AuNP) の合成 (b) TP-AuNP (10 nm) 内包微小管の CLSM 像 (c) CLSM 像から算出した微小管の持続長

(3) CoPt ナノ粒子の内包による微小管の磁場配向制御⁶

体内の磁性ナノ粒子を利用して地磁気に沿って運動する磁性細菌を模倣し、微小管内部に磁性ナノ粒子を導入することで、磁場に沿って運動方向が変わる走磁性微小管の開発を試みた。CoPt 結合ペプチド (CBP; HYPTLPLGSSTY) と TP を連結した CBP-TP を合成し、チューブリンと複合化した後に、Co イオン、Pt イオン、還元剤を添加して CoPt ナノ粒子を先に形成し、その後 GMPCPP により微小管を形成する方法 ("Before" method) と、CBP-TP 複合化チューブリンに GMPCPP を添加して微小管を形成し、その後 CoPt ナノ粒子を形成する方法 ("After" method) で CoPt ナノ粒子内包微小管の構築を行った (図 4a)。TEM により、"Before" method、"After" method の両方で微小管内部への CoPt ナノ粒子の導入が確認され、特に "Before" method では CoPt ナノ

粒子が微小管内部で孤立していたのに対し、"After" method では微小管内部で CoPt ナノ粒子が一部連続して配列していた。これは、"After" method で CoPt ナノ粒子が微小管内部で核形成・成長したためだと考えられる。CoPt ナノ粒子内包微小管をネオジム磁石 (0.37 T) 存在下で観察したところ、"After" method では、磁場の方向である水平方向に規則正しく配向し、二次元配向度は 0.71 であった (図 4b, 4c)。一方、"Before" method で作製した微小管や、CBP-TP を用いずに "After" method で作製した微小管は磁場応答性を示さなかった (図 4c)。このことは、"After" method で作製した微小管は、その内部の連続した CoPt ナノ粒子の配列がナノワイヤーのように働き、磁場応答性が向上したことを示唆している。また、キネシン固定基板における微小管の運動速度を解析したところ、"After" method で作製した CoPt ナノ粒子内包微小管は通常の微小管に比べて速度が 1.2 倍増大した。CoPt ナノ粒子が微小管内部で形成されることで、微小管の剛直性が増大したためだと推測される。したがって、TP を用いて CoPt ナノ粒子を内包することで、高い磁場応答性と運動性を両立した磁性微小管の構築に成功した。

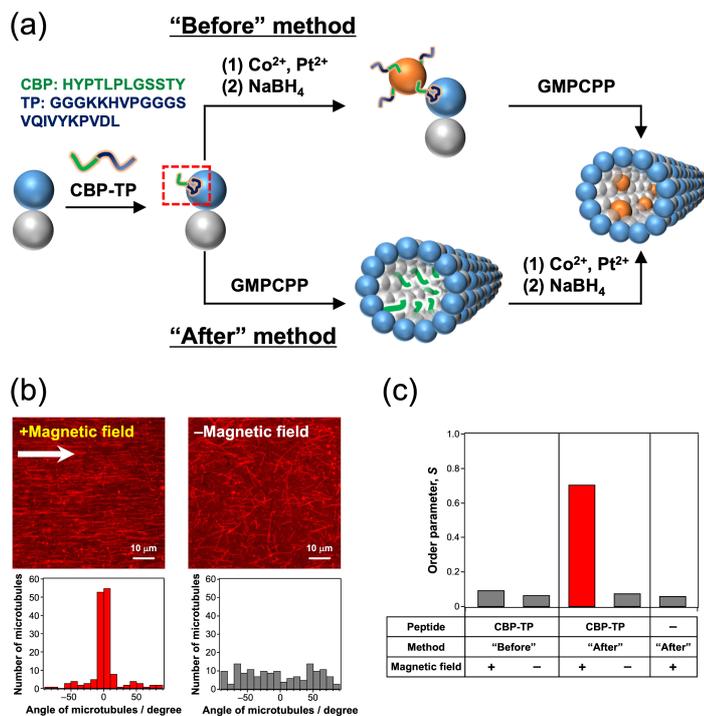


図 4. (a) 二種類の方法による CoPt ナノ粒子内包微小管の構築 (b) "After" method で構築した CoPt ナノ粒子内包微小管の磁場による配列化 (c) CLSM 像から算出した微小管の配向度

<引用文献>

1. H. Hess J. L. Ross, *Chem. Soc. Rev.*, **2017**, *46*, 5570.
2. M. Ichikawa, K. H. Bui, *BioEssays*, **2018**, *40*, 1700209.
3. H. Inaba, T. Yamamoto, A. M. R. Kabir, A. Kakugo, K. Sada, K. Matsuura, *Chem. Eur. J.*, **2018**, *24*, 14958.
4. H. Inaba, T. Yamamoto, T. Iwasaki, A. M. R. Kabir, A. Kakugo, K. Sada, K. Matsuura, *Chem. Commun.*, **2019**, *55*, 9072.
5. H. Inaba, A. M. R. Kabir, A. Kakugo, K. Sada, K. Matsuura, *Chem. Lett.*, **2022**, *51*, 348.
6. H. Inaba, M. Yamada, M. R. Rashid, A. M. R. Kabir, A. Kakugo, K. Sada, K. Matsuura, *Nano Lett.*, **2020**, *20*, 5251.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Hiroshi Inaba, Yurina Sueki, Muneyoshi Ichikawa, Arif Md. Rashedul Kabir, Takashi Iwasaki, Hideki Shigematsu, Akira Kakugo, Kazuki Sada, Kazunori Matsuura	4. 巻 -
2. 論文標題 Generation of stable microtubule superstructures by binding of peptide-fused tetrameric proteins to inside and outside	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 bioRxiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1101/2022.01.27.476107	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hiroshi Inaba, Arif Md. Rashedul Kabir, Akira Kakugo, Kazuki Sada, Kazunori Matsuura	4. 巻 51
2. 論文標題 Structural Changes of Microtubules by Encapsulation of Gold Nanoparticles Using a Tau-derived Peptide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 348 ~ 351
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/cl.210761	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hiroshi Inaba, Kazunori Matsuura	4. 巻 94
2. 論文標題 Modulation of Microtubule Properties and Functions by Encapsulation of Nanomaterials Using a Tau-Derived Peptide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 2100 ~ 2112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/bcsj.20210202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hiroshi Inaba, Mayuki Yamada, Mst. Rubaya Rashid, Arif Md. Rashedul Kabir, Akira Kakugo, Kazuki Sada, Kazunori Matsuura	4. 巻 20
2. 論文標題 Magnetic Force-Induced Alignment of Microtubules by Encapsulation of CoPt Nanoparticles Using a Tau-Derived Peptide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 5251 ~ 5258
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.nanolett.0c01573	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Inaba, Miyuu Nagata, Kyeongmi Juliano Miyake, Arif Md. Rashedul Kabir, Akira Kakugo, Kazuki Sada, Kazunori Matsuura	4. 巻 52
2. 論文標題 Cyclic Tau-derived peptides for stabilization of microtubules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1143~1151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-020-0356-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Inaba, Takahisa Yamamoto, Takashi Iwasaki, Arif Md. Rashedul Kabir, Akira Kakugo, Kazuki Sada, Kazunori Matsuura	4. 巻 4
2. 論文標題 Fluorescent Tau-derived Peptide for Monitoring Microtubules in Living Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 11245-11250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b01089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Inaba, Takahisa Yamamoto, Takashi Iwasaki, Arif Md. Rashedul Kabir, Akira Kakugo, Kazuki Sada, Kazunori Matsuura	4. 巻 55
2. 論文標題 Stabilization of microtubules by encapsulation of the GFP using a Tau-derived peptide	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9072-9075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC04345D	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計49件(うち招待講演 11件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いた金ナノ粒子内包微小管の創製
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲葉央、長田実優、ジュリアーノ三宅京美、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 環状Tau由来ペプチド開発による微小管の構造安定化
3. 学会等名 第30回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末岐優里菜、山本昂久、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いた負電荷を有するGFP 内包微小管の創製
3. 学会等名 第30回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末岐優里菜、山本昂久、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いたタンパク質内包微小管の創製
3. 学会等名 第14回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲葉央、山田茉由季、Rashid Mst. Rubaya、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いたCoPtナノ粒子内包による微小管の磁場配向
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲葉央、山本昂久、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Structural modification of microtubules by encapsulation of proteins using a Tau-derived peptide
3. 学会等名 第57回ペプチド討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末岐優里菜、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いた4量体蛍光タンパク質の内包による微小管の安定化
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀佑真、稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いたDNA一次元自己集合体の微小管への内包
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡宗英、稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドの光アフィニティラベリングによる微小管安定化
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央、山本昂久、岩崎崇、Kabir Arif Md. Rashedul、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドの細胞内微小管への結合解析
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 微小管への分子導入と構造改変
3. 学会等名 第12回ナノバイオ若手ネットワーキングシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央、山本昂久、岩崎崇、Kabir Arif Md. Rashedul、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いたGFP内包微小管の創製とその物性解析
3. 学会等名 第29回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田菜由季、山本昂久、稲葉央、Arif Md.Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いたCoPt ナノ粒子内包微小管の創製と磁場配向
3. 学会等名 第29回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 ペプチド設計に基づく微小管内部への分子導入と構造強化
3. 学会等名 北海道高分子若手研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央、山本昂久、岩崎崇、Arif Md.Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau 由来ペプチドを用いたGFP 内包による高安定微小管の創製
3. 学会等名 第13回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 Modulation of Microtubules by Peptide-based Encapsulation of Nanostructures
3. 学会等名 10th RSC-CSJ Joint Symposium（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田菜由季、山本昂久、稲葉央、Arif Md.Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いた微小管内部空間への CoPtナノ粒子の導入と磁場配向
3. 学会等名 第68回高分子討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 Tau由来ペプチド設計に基づく微小管内部空間の機能開拓
3. 学会等名 第26回ペプチドフォーラム（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田茉由季、山本昂久、稲葉央、松浦和則、Arif Md.Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己
2. 発表標題 Tau 由来ペプチドを用いたCoPt ナノ粒子内包微小管の構築と磁場配向制御
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央、山田茉由季、Arif Md.Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Magnetic alignment of microtubules by encapsulation of cobalt-platinum nanoparticles using a Tau-derived peptide
3. 学会等名 第56回ペプチド討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 微小管を中から変える：ペプチドを基盤とした微小管への分子内包
3. 学会等名 NAISTセミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 ペプチド設計を基軸とした微小管内部への分子導入法の開発と応用
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小澤忠弘、山本昂久、稲葉央、Kabir Arif Md. Rashedul、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドの微小管への結合における配列依存性
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末岐優里菜、山本昂久、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いたGFP内包微小管の創製と物性制御
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 Peptide-based Approach for Modulation of Microtubules from Inside
3. 学会等名 RIKEN Seminar (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉央、山田茉由季、Arif Md.Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Magnetic alignment of microtubules by encapsulation of CoPt nanoparticles using a Tau-derived peptide
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 末岐優里菜、山本昂久、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 微小管結合ペプチドを用いたGFP 内包微小管の創製と物性制御
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 Functional development of the inside of microtubules based on a Tau-derived peptide
3. 学会等名 2021 Annual Spring Meeting of the Polymer Korea Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 Cyclic Tau-derived Peptides for Stabilization of Microtubules
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Structural change of microtubules by encapsulation of gold nanoparticles using a Tau-derived peptide
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央、渡宗英、Arif Md. Rashedul Kabir、角五 彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 光アフィニティーラベルTau由来ペプチドによる微小管安定化の光制御
3. 学会等名 第31回バイオ・高分子シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末岐優里菜、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いた4量体蛍光タンパク質内包微小管の創製
3. 学会等名 生体機能関連部会若手の会 第32回サマースクール
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡宗英、稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 光刺激により微小管を安定化するTau由来ペプチドの開発
3. 学会等名 第53回若手ペプチド夏の勉強会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 ペプチドを用いて微小管を中から変える
3. 学会等名 第53回若手ペプチド夏の勉強会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡宗英、稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 光架橋性Tau由来ペプチドによる微小管安定化
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末岐優里菜、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いた4量体蛍光タンパク質の内包による微小管安定化
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央、末岐優里菜、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを介したタンパク質内包による微小管の構造制御
3. 学会等名 第15回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡宗英、稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドとの光架橋による微小管の構造安定化
3. 学会等名 第15回バイオ関連化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡宗英、稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドと微小管の光架橋による構造安定化
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末岐優里菜、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いた4量体蛍光タンパク質内包微小管の構築と安定化
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央、渡宗英、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Stabilization of microtubules by photoaffinity labeling of a Tau-derived peptide
3. 学会等名 第58回ペプチド討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末岐優里菜、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを用いた4量体蛍光タンパク質内包微小管の安定化と物性評価
3. 学会等名 中国四国地区 高分子若手研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央、末岐優里菜、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Tau由来ペプチドを利用した4量体タンパク質内包による微小管の構造・機能改変
3. 学会等名 第5回分子ロボティクス年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 ペプチドを用いたナノ繊維構造体の創製および動的機能開拓
3. 学会等名 2021年 繊維学会秋季研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 末岐優里菜、稲葉央、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Stabilization of microtubules by encapsulation of tetrameric fluorescent proteins using Tau-derived peptides
3. 学会等名 環太平洋国際化学会議2021（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央、山本昂久、岩崎崇、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 Stabilization of microtubules by encapsulation of GFP using a Tau-derived peptide
3. 学会等名 環太平洋国際化学会議2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 Generation of cilia-inspired microtubule superstructures by binding of peptide-fused proteins to inside and outside
3. 学会等名 37th BSCB GenSoc UK Cilia Network e-symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲葉央
2. 発表標題 Development of Dynamic Bionanostructures Based on Peptides
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡宗英、稲葉央、Arif Md. Rashedul Kabir、角五彰、佐田和己、松浦和則
2. 発表標題 光アフィニティラベルTau由来ペプチドを用いた微小管構造の光制御
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Hiroshi Inaba, Kazunori Matsuura	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 447
3. 書名 Methods in Molecular Biology: Live Cell Imaging: Live-Cell Fluorescence Imaging of Microtubules by Using a Tau-Derived Peptide	

1. 著者名 Hiroshi Inaba, Kazunori Matsuura	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer Nature	5. 総ページ数 486
3. 書名 Methods in Molecular Biology: Microtubules - Methods and Protocols: Encapsulation of nanomaterials inside microtubules by using a Tau-derived peptide	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 タンパク質を内包した人工微小管	発明者 稲葉央、松浦和則、 山本昂久、岩崎崇、 角五彰	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-028653	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

本研究に関して、第71回日本化学会進歩賞および2021年度高分子研究奨励賞を受賞した。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	松浦 和則 (Matsuura Kazunori)		
研究協力者	岩崎 崇 (Iwasaki Takashi)		
研究協力者	角五 彰 (Kakugo Akira)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関